

PERBEDAAN SIFAT MEKANIK KAWAT ORTODONTIK JENIS BAJA TAHAN KARAT AKIBAT PENGARUH STRUKTUR MIKRO

(Studi in-vitro)

Siti Triaminingsih

Bagian Ilmu Material Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia

Siti Triaminingsih: Perbedaan Sifat Mekanik Kawat Ortodontik Jenis Baja Tahan Karat Akibat Pengaruh Struktur Mikro. Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Indonesia. 2000; 7 (Edisi Khusus): 110-115

Abstract

The orthodontist has chosen the stainless-steel as a wire of choice that has a great property in elastic deformity and formability. However, some stainless-steel orthodontic wire that was found has low formability. The degree of plastic deformation during the drawing process will affect the microstructure and then to the mechanical properties of the wire. The purpose of this study was to prove that the mechanical properties of the stainless-steel orthodontic wire affected by their microstructure. The microstructure was evaluated before and after being annealed at 1050 °C, and the grain size was measured from the annealed samples. Six samples of two stainless-steels orthodontic wires (RMO and Wilcock) were used to determine their tensile strength by using the universal testing machine. The area of the surface fracture was measured to determine the ductility. The wire hardness was tested by using the Micro Vickers Hardness Tester. The results showed that the Wilcock wire has a smaller grain size, higher hardness number, and higher tensile strength, but lower in ductility. In conclusion, the Wilcock wires have a lower formability than the RMO wires.

Abstrak

Kawat jenis baja tahan karat merupakan kawat yang banyak digunakan dalam perawatan ortodonti karena memiliki sifat deformasi elastis dan mampu bentuk yang baik. Namun pada kenyataannya ditemukan kawat ortodonti jenis baja tahan karat yang memiliki mampu-bentuk yang lebih rendah. Besarnya deformasi plastis selama proses wire drawing akan mempengaruhi struktur mikro dan selanjutnya mempengaruhi sifat mekanik kawat. Tujuan penelitian ini adalah membuktikan bahwa sifat mekanik kawat ortodonti jenis baja tahan karat dipengaruhi oleh struktur mikronya. Pada penelitian ini digunakan kawat ortodonti merek RMO dan Wilcock. Pengamatan pada struktur mikro dilakukan sebelum dan sesudah kawat dianil pada temperatur 1050 °C. Sedangkan pengukuran besar butir dilakukan pada kawat uji setelah dianil. Uji tarik dilakukan pada

Kawat uji (masing-masing sebanyak 3 buah) dengan menggunakan universal testing machine, dan sifat mekaniknya ditentukan melalui penghitungan reduksi luas penampang pada permukaan patahan. *Micro Vickers Hardness Tester* digunakan untuk mengukur kekerasan kedua kawat uji. Pengamatan pada struktur mikro memperlihatkan bahwa kawat ortodonti merek Wilcock mempunyai butir lebih halus. Meskipun kawat ortodonti merek Wilcock mempunyai kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih besar, namun mempunyai ketahanan yang lebih rendah dibanding kawat ortodonti merek RMO sehingga mempunyai mampu-bentuk yang lebih rendah pula.

Pendahuluan

Kawat ortodonti jenis baja tahan karat merupakan kawat yang paling banyak digunakan dalam perawatan ortodonti baik di Indonesia maupun di mancanegara. Kawat baja tahan karat yang digunakan dalam perawatan ortodonti adalah kawat baja tahan karat austenit atau sering disebut baja tahan karat 18-8.^{1,2,3} Kawat ini disukai karena memiliki sifat biokompatibilitas, kestabilan, deformasi elastis, dan mampu-bentuk yang baik serta dapat disolder. Ditinjau dari segi mekanik, sifat deformasi elastis dan mampu-bentuk yang baik sangat diperlukan di dalam penggunaan kawat ortodonti. Namun ditekan kawat ortodonti jenis baja tahan karat yang mempunyai mampu-bentuk yang rendah. Pada dasarnya kawat diperoleh melalui proses *wire drawing* dan selama proses akan terjadi perubahan struktur mikro pada kawat. Proses *wire drawing* biasanya dilakukan secara pengerjaan dingin (*cold working*).^{4,5} Kawat baja tahan karat dideformasi secara pengerjaan dingin mengalami pengerasan regangan (*strain hardening*).^{6,7,8} Karena itu besarnya deformasi yang terjadi selama proses *wire drawing* akan mempengaruhi sifat kawat, dengan kata lain sifat mekanik kawat baja tahan karat ditentukan oleh struktur mikronya.

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan struktur mikro dan uji mekanik pada kawat ortodonti jenis baja tahan karat untuk membuktikan bahwa sifat mekanik kawat ortodonti jenis baja tahan karat dipengaruhi oleh struktur mikronya.

Bahan dan Cara Kerja

Hal-hal yang dilakukan dalam penelitian ini berupa pengamatan terhadap struktur mikro serta uji mekanik berupa uji keras dan uji tarik pada kawat ortodonti jenis baja tahan karat.

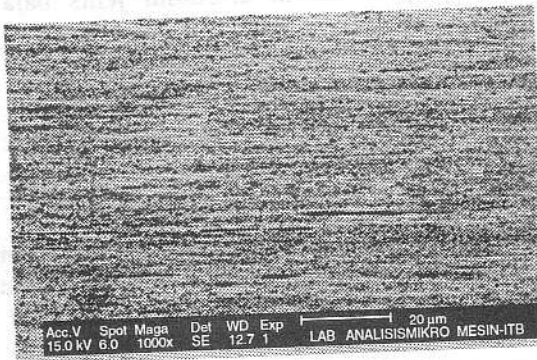
Material uji berupa kawat ortodonti jenis baja tahan karat merek RMO (Batch No. 96065) dan merek Wilcock-special (Batch No. 231-320), yang masing-masing kawat berdiameter 0.4 mm. Kedua material uji ini merupakan baja tahan karat austenit 304.⁹ Pengamatan dan pengujian dilakukan pada kawat *as received* (kawat dari kemasan pabrik) dan kawat setelah dianil pada temperatur 1050 °C selama 30 menit dan celup cepat ke dalam air.

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada potongan longitudinal dari material uji. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop metalurgi merek Nikon pada material uji yang telah di etsa dengan larutan etsa 15 mL HCl + 10 mL HNO₃ + 10 mL Asam Asetat + 3-5 tetes Gliserol.¹⁰ Dari gambaran metalografi, besar butir diukur dengan metoda garis menurut Heyn.¹¹ Pengamatan struktur mikro dilanjutkan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merek Philips sehingga diperoleh gambaran topografi dari material uji.

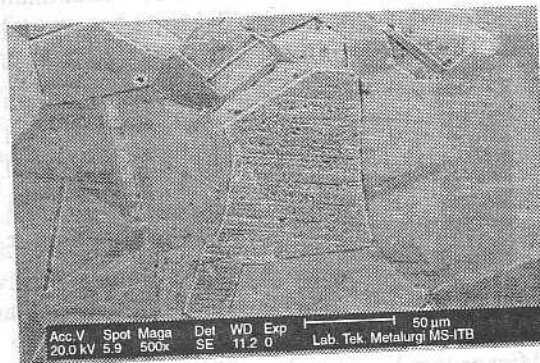
Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji Micro Vickers merek Zwick pada material uji *as received* dan setelah dianil. Pengujian dilakukan pada 15 tempat yang mewakili bagian tepi dan bagian tengah material uji dengan beban uji sebesar 200 gram.

Pada penelitian ini, uji tarik dilakukan pada 3 buah sampel dari masing-masing merek. Alat uji tarik merek Shimadzu AG-5000 E dengan kecepatan uji 0,5 mm/ menit digunakan untuk melakukan pengujian. Material uji disiapkan sesuai spesifikasi JIS Z 2201 *test piece* 9A. Kedua ujung kawat diikat pada alat pemegang sesuai dengan ASTM A318. Kekuatan luluh dihitung berdasarkan titik luluh yang terdapat pada kurva tegangan-regangan.

Melalui mikroskop stereo permukaan patahan diamati dan keuletan diukur melalui besarnya pengurangan luas penampang.



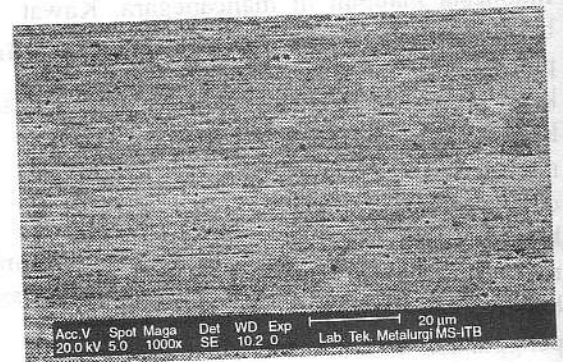
Gambar 1. Gambar struktur mikro kawat ortodonti merek RMO *as received*.



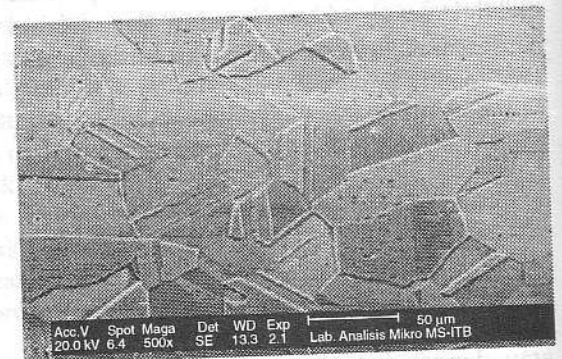
Gambar 3. Butir ekuiaksial dan kembaran anil pada kawat ortodonti merek RMO setelah dianil pada temperatur 1050°C selama 30 menit dan celup-cepat ke dalam air

Hasil

Pada gambar struktur mikro dari kawat ortodonti *as received* tidak tampak adanya butir-butir longitudinal, melainkan hanya berupa garis-garis yang memanjang searah dengan arah penarikan pada proses *wire drawing* (Gambar 1 & Gambar 2). Sedangkan proses anil pada temperatur 1050 °C menghasilkan butir baru yang ekuiaksial dan kembaran anil (*annealing twin*) seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2. Gambar struktur mikro kawat ortodonti merek Wilcock *as received*.



Gambar 4. Butir ekuiaksial dan kembaran anil pada kawat ortodonti merek Wilcock setelah dianil pada temperatur 1050°C selama 30 menit dan celup-cepat ke dalam air

Tabel 1. memperlihatkan hasil pengukuran besar butir pada material uji setelah dianil. Terlihat bahwa kawat ortodonti merek RMO mempunyai butir yang lebih besar. Sedangkan

Tabel 1. Ukuran butir setelah pemanasan pada temperatur 1050°C selama 30 menit.

Material Uji	Besar butir rata-rata (μm)
RMO	49,9 \pm 6,3
Wilcock	26,8 \pm 1,98

Hasil uji tarik memperlihatkan adanya *yield point phenomenon* dengan kekuatan luluh serta kekuatan tarik seperti yang tertera pada Tabel 3. Kekuatan luluh kedua material uji tidak berbeda bermakna, namun kawat ortodonti merek Wilcock mempunyai

Tabel 3. Kekuatan luluh dan kekuatan tarik material uji *as received* (MPa)

Material Uji	Kekuatan Luluh		Kekuatan tarik
	σ_y atas	σ_y bawah	σ_u
RMO	1349 \pm 39	1307 \pm 38	1957 \pm 15
Wilcock	1421 \pm 7	1389 \pm 7	2738 \pm 13

Meskipun kedua material uji merupakan material yang ulet, namun kawat ortodonti merek Wilcock mempunyai keuletan yang

kan hasil uji keras (Tabel 2). menunjukkan bahwa kawat ortodonti merek Wilcock mempunyai kekerasan lebih tinggi baik pada kawat *as received* maupun setelah dianil

Tabel 2. Kekerasan material uji (VHN)

Material Uji	As received	Setelah dianil
RMO	487 \pm 27	159 \pm 8
Wilcock	520 \pm 21	166 \pm 5

kekuatan tarik yang lebih besar. Demikian juga pengamatan pada kemiringan kurva tegangan-regangan menunjukkan bahwa kawat ortodonti merek Wilcock bersifat lebih kaku.

lebih rendah. Hal ini ditunjukkan dari besarnya reduksi penampang pada permukaan patahan. (Tabel 4)

Tabel 4. Reduksi penampang

Material uji	Reduksi penampang (%)
RMO	85,18 \pm 6,16
Wilcock	67,31 \pm 4,64

Pembahasan

Kawat diperoleh dari batang kawat yang dianil, dan pada kondisi anil butir berbentuk akaksial. Proses *wire drawing* akan menyebabkan butir berbentuk longitudinal sesuai dengan arah penarikan. Namun pada kedua material uji *as received* hanya tampak berupa garis-garis yang memanjang, hal ini

disebabkan karena kawat mengalami deformasi yang sangat besar akibat proses penarikan sehingga butir menjadi sangat pipih. Untuk dapat menganalisa bentuk dan ukuran butir perlu dilakukan rekristalisasi pada kedua material uji, yaitu dengan melakukan pemanasan pada temperatur rekristalisasi.

Proses rekristalisasi akan menyebabkan pertumbuhan butir baru yang menggantikan butir lama yang mengalami deformasi.^{6,7,8} Rekristalisasi pada baja tahan karat austenit 304 terjadi pada temperatur sekitar 600 °C, namun bila dilakukan pada temperatur ini baja tahan karat akan mengalami kondisi sensitisasi.^{5,12} Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pemanasan pada temperatur 1050 °C dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat untuk mencegah pengendapan khrom-karbida di batas butir. Setelah rekristalisasi tampak butir yang ekuiaxial dan kembaran anil. Adanya kembaran anil karena kedua material uji merupakan baja tahan karat austenit dan berstruktur kristal FCC (*Face-Centered Cubic*).⁹ Logam FCC yang memiliki energi salah tumpuk (*Stacking Fault Energy/ SFE*) yang rendah akan membentuk kembaran anil⁶ dan baja tahan karat austenit memiliki SFE rendah, yaitu 18-20 mJ m⁻².^{5,6,7} Oleh karena itu kembaran anil ditemukan pada kedua material uji yang telah dianil. Adanya kembaran pada struktur mikro menunjukkan pula bahwa logam mengalami deformasi mekanik sebelum dilakukan pemanasan, yaitu pada waktu proses *wire drawing*.

Pada penelitian ini tampak bahwa setelah pemanasan, kawat ortodonti merek Wilcock memiliki butir yang lebih kecil dari butir pada kawat ortodonti merek RMO. Hal ini disebabkan karena proses *wire drawing* menimbulkan deformasi besar. Logam yang mengalami deformasi pada pengerjaan dingin mempunyai energi dalam yang lebih tinggi karena naiknya kerapatan dislokasi. Bila deformasi besar maka pengintian inti baru semakin banyak. Pada waktu rekristalisasi akan menghasilkan butir yang lebih kecil karena dalam pertumbuhannya inti cepat bertemu satu sama lain. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kawat ortodonti merek Wilcock mempunyai energi dalam yang tinggi akibat mengalami deformasi yang lebih besar pada waktu pembuatannya.

Baja tahan karat austenit hanya dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin. Sebab utama terjadinya pengerasan ini adalah karena efek pengerasan regangan dan adanya transformasi martensit.^{5,8} Pengerasan regangan disebabkan karena adanya interaksi dari dislokasi-dislokasi yang mengakibatkan dislokasi yang sukar bergerak sehingga terjadi pelipatgandaan dislokasi.^{6,7} Hal ini terbukti dari hasil uji kekerasan pada kawat *as received*. Sedangkan akibat terjadinya rekristalisasi, pengerasan regangan dan butir yang terdistorsi secara cepat hilang dengan terbentuknya butir baru yang bebas regangan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menurunnya kekerasan. Hasil uji kekerasan memperlihatkan bahwa kawat ortodonti merek Wilcock memiliki kekerasan lebih tinggi. Keadaan ini menunjukkan bahwa pada waktu proses *wire drawing*, kawat ortodonti merek Wilcock mengalami pengerasan regangan yang lebih besar. Terbukti pula bahwa setelah dianil kawat ortodonti merek Wilcock memiliki butir yang lebih halus.

Baja tahan karat austenit 304 mengandung unsur karbon dengan konsentrasi rendah.^{5,8,12} Baja karbon rendah yang mengalami penarikan akan memperlihatkan fenomena *yielding*. Hal ini terjadi karena adanya sejumlah kecil atom karbon yang larut interstisi. Hall dan Petch mengemukakan hubungan antara besar butir dan kekuatan luluh pada baja karbon rendah berdasarkan konsep bahwa batas butir berperan sebagai penghalang bagi pergerakan dislokasi,⁶ sehingga butir halus akan memberikan kekuatan luluh lebih besar. Kawat ortodonti merek Wilcock memiliki butir lebih halus dibandingkan merek RMO, karena itu terlihat adanya kenaikan nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang lebih besar. Nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik pada penelitian ini berkisar di antara nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang diperoleh para peneliti terdahulu.¹³ Dengan demikian terlihat bahwa besarnya deformasi dan teknik yang dilakukan pada proses *wire*

yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik yang dihasilkan.

Kedua material uji merupakan material yang ulet. Hal ini terbukti dari hasil pengamatan pada permukaan patahan yang menunjukkan bentuk *cup-and-cone*. Meskipun demikian, hasil pengukuran luas permukaan patahan memperlihatkan bahwa kawat ortodonti merek Wilcock memiliki keuletan lebih rendah. Kenyataan ini sesuai dengan pernyataan Ware bahwa kawat ortodonti merek Wilcock tidak seulet kawat lainnya. Karena itu Ware menyarankan penekukan pada kawat ortodonti merek Wilcock dilakukan secara hati-hati.³

Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan pengujian terhadap kawat ortodonti jenis baja tahan karat merek RMO dan Wilcock dapat disimpulkan bahwa:

1. Sifat kawat ortodonti jenis baja tahan karat dipengaruhi oleh struktur mikronya.
2. Kawat ortodonti merek Wilcock memiliki butir lebih halus akibat pengerasan regangan yang lebih besar selama proses *wire drawing*.
3. Kawat ortodonti merek Wilcock memiliki kekerasan dan kekuatan tarik lebih besar, namun keuletan yang lebih rendah sehingga sifat mampu-bentuk yang dimilikinya lebih rendah pula.

Daftar Pustaka

1. Craig RG. *Restorative Dental Materials*. 9th ed. St.Louis: The C.V. Mosby Company, 1989: 444-53.
2. Phillips RW. *Skinner's Science of Dental Materials*. 9th ed. Philadelphia: WB Saunders, 1991: 537-42.
3. Begg PR, Kesling PC. *Begg Orthodontic Theory and Technique*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders, 1977: 94-5.
4. Kalpakjian S. *Manufacturing Engineering and Technology*. 2nd ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1992: 444-9.
5. Peckner D, Bernstein IM. *Handbook of Stainless Steel*. USA: McGraw-Hill Book Company, 1977: 28:1-4, 4:19-23.
6. Dieter GE. *Mechanical Metallurgy*. SI Metric Edition. London: McGraw-Hill Book Company, 1988: 130-37, 184-91, 197-201, 229-37, 262-5.
7. Honeycombe RWK. *The Plastic Deformation of Metals*. London: Edward Arnold (Publisher) Ltd., 1968: 228-35, 295-319.
8. Marshall P. *Austenitic Stainless Steel, Microstructure and Mechanical Properties*. USA: Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1984: 81,91,23-9.
9. Siti Triaminingsih. Karakterisasi kawat ortodonti jenis baja tahan karat. *JKGUI* 2000; 7 (1): 42-8.
10. Leco Corporation. *Metallography principles and procedures*. 1977: 45.
11. Vander Voort GF. *Metallography: principles and practice*. McGraw-Hill Book company, 1984: 447-51.
12. Smith WF. *Structure and Properties of Engineering Alloys*. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill International Editions, 1993: 288-332.
13. Sunil K, Rohit S. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989; 96:100-9.